

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет гірничо-металургійний
Кафедра металургії, матеріалознавства та організації виробництва

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП Металургія сталі

Христина МАЛІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Металургія сталі»
за спеціальністю 136 Металургія

на тему «Дослідження причин виникнення проривів корки металу під кристалізатором при безперервному розливанні сталі і розробка рекомендацій щодо зниження аварійних ситуацій»

Керівник роботи

Євген СИНЕГІН

Консультант від
бази практики

Дмитро ШИТІКОВ

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач

Віктор САНИЦЬКИЙ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Євген БРАГІНЕЦЬ

Кам'янське 2024

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	гірничо-металургійний
Кафедра	металургії, матеріалознавства та організації виробництва
Ступінь вищої освіти	магістр
Спеціальність	136 Металургія
ОПП	Металургія сталі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП Металургія сталі

Христина МАЛІЙ

«05» грудня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Саницький Віктор Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Дослідження причин виникнення проривів корки металу під кристалізатором при безперервному розливанні сталі і розробка рекомендацій щодо зниження аварійних ситуацій

керівник роботи Синегін Євген Володимирович, доцент, канд. техн. наук,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 15.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Літературні джерела вітчизняної та світової періодики, монографії, патенти тощо, технологічні інструкції розливки сталі на МБЛЗ та паспорта розливання на МБЛЗ 200 плавок, документація з охорони праці.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Зміст. Вступ. Розділ 1. Аналітичні дослідження причин виникнення та заходів і технічних рішень задля їх попередження. Розділ 2. Основна частина. Статистичний аналіз причин виникнення проривів металу під кристалізатором. Визначення раціональних хімічного складу сталі та параметрів розливання для забезпечення безаварійності розливання сталі на МБЛЗ. Розділ 3. Охорона праці. Розділ 4. Розрахунки економічної доцільності запропонованих рішень. Висновки. Перелік використаних джерел.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 6 слайдів основної частини 1 слайд економічної частини.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
Розділ 1	Синегін Є.В., доцент
Розділ 2	Синегін Є.В., доцент
Розділ 3	Синегін Є.В., доцент
Розділ 4	Латишева О.В., доцент

7. Дата видачі завдання 05.12.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Теоретичний розділ (Аналітично-пошуковий)	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 2. Технологічний розділ	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 3. Охорона праці	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 4. Економічний розділ	03.01.2024 – 07.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	07.01.2024 – 08.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	08.01.2024 – 10.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	10.01.2024 – 16.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	16.01.2024 – 24.01.2024

Здобувач

Віктор САНИЦЬКИЙ

Керівник роботи

Євген СИНЕГІН

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Аналітичні дослідження причин виникнення та заходів і технічних рішень задля їх попередження	6
2.1 Системи виявлення проривів металу під кристалізатором.....	6
1.2 Виявлення та ліквідація наслідків проривів в умовах ПрАТ «КАМЕРСТАЛЬ».....	15
2 Основна частина.....	17
2.1 Огляд причин виникнення проривів металу під кристалізатором та методів щодо їх запобігання.....	17
2.1.1 Прориви охолодження	17
2.1.2 Прориви підвисання	18
2.1.3 Прориви «по шлаку»	20
2.1.4 Прориви на запуску струмка (пускові або стартові прориви)	23
2.2 Методика статистичного аналізу причин виникнення проривів корки металу під кристалізатором	25
3 Охорона праці	37
3.1 Охорона праці	37
3.1.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки	37
3.1.2 Заходи поліпшення умов праці.....	40
3.2 Захист навколишнього середовища.....	47
4 Розрахунки економічної доцільності запропонованих рішень	50
Висновки.....	54
Перелік використаної літератури	56

ВСТУП

Розливання сталі безперервним способом – є ключовим етапом у сталеплавильному виробництві, що відіграє вирішальну роль у покращенні якості продукції та оптимізації виробничих процесів. Актуальність впровадження цієї технології набуває все більшої ваги в контексті сучасних вимог до ефективності, якості та сталеплавильної промисловості загалом.

У контексті сучасних викликів у зв'язку зі змінами клімату, розливання сталі безперервним способом є важливим кроком до створення більш екологічно чистих виробничих процесів. Це дозволяє зменшити викиди шкідливих речовин та енергоефективно виробляти сталь. Застосування цієї технології сприяє зменшенню викидів вуглецю, оптимізації використання енергії та водних ресурсів, що робить її ключовою у зусиллях промисловості до досягнення кліматичної стійкості.

Поза цим, впровадження безперервного розливання сталі також відкриває нові можливості для збільшення продуктивності та ефективності виробництва. Швидкість процесу, автоматизація та більш точний контроль параметрів створюють умови для збільшення обсягів виробництва та зниження витрат на управління та обслуговування виробництва.

Однією з найбільших проблем, що може виникати при безперервному розливанні сталі, вважаються прориви рідкого металу, які можуть призводити до виникнення низки дефектів безперервнолитої заготівлі та утворення аварійних ситуацій на виробництві. Тому дослідження причин виникнення проривів корки металу під кристалізатором при безперервному розливанні сталі є актуальними.

1 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ВИНИКНЕННЯ ТА ЗАХОДІВ І ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ЗАДЛЯ ЇХ ПОПЕРЕДЖЕННЯ

Прорив металу під кристалізатором МБЛЗ є технологічною ситуацією, яка трапляється найчастіше й супроводжується аваріями, серйозними втратами продуктивності машини й погіршенням якості заготовки. Імовірність утворення проривів зростає з підвищенням швидкості розливання й за відхилення режимів лиття від номінальних [1]. Основна шкода проривів окрім прямої загрози життю і здоров'ю персоналу полягає у необхідності зупинки струмка МБЛЗ і видалення з зони роботи МБЛЗ наслідків прориву із заміною всього ушкодженого обладнання.

2.1 Системи виявлення проривів металу під кристалізатором

Автоматизовані системи прогнозування виникнення проривів металу під кристалізатором почали розроблятися починаючи з часу активного освоєння безперервної розливки сталі. Більшість з них ґрунтується на показниках термопар, які встановлюють на зовнішній поверхні мідної гільзи кристалізатора [2]. Робота системи запобігання проривів базується на порівнянні показників величини різниці температур від двох термопар, розташованих одна під одною (рис. 3.1). При цьому температура поверхні заготовки в області розриву скоринки трохи вища, ніж у прилеглих зонах, що провокує виникнення й розвиток тріщин у твердій скоринці. Відповідно розширення зони підвищеної температури система розглядає як прилипання твердої скоринки й виникнення небезпеки прориву під кристалізатором [1].

Характерна ситуація зі зміною величини температури під час виникнення прилипання подана на рисунку 3.2. Протягом нормального режиму роботи показники термопар залишаються стабільними (етап I).

При цьому величина температури для верхньої термопари вища, ніж для нижньої. Початковий момент появи точки прилипання (етап II) фактично ніяк не відбивається на показниках термопар. Під час підходу дефекту (прориву) кірки до верхньої термопари відбувається значне підвищення температури, яке фіксується верхньою термопарою (етап III). При цьому показники нижньої термопари залишаються незмінними.

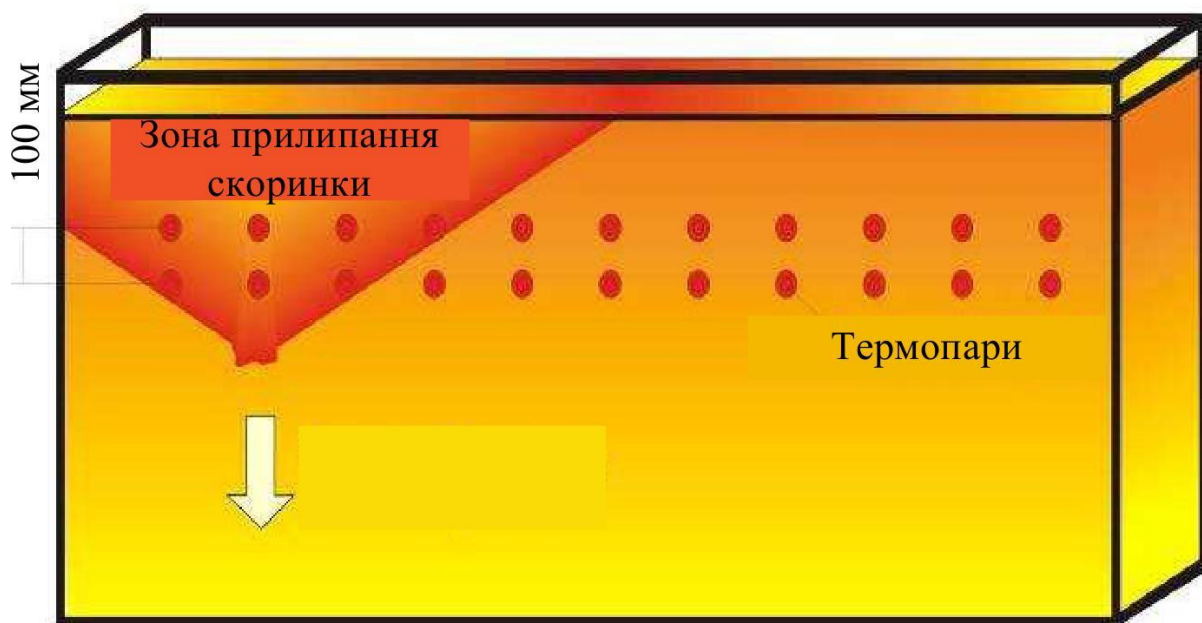


Рисунок 3.1 – Схема індикації прилипання (прориву) кірки

Далі місце дефекту відходить від верхньої термопари й підходить до нижньої (етап IV) зі швидкістю витягання заготовки, що відповідає проходженню максимуму температури верхньою термопарою й підвищенню температури, яка фіксується нижньою термопарою.

У міру проходження місцем дефекту нижньої термопари відбувається падіння величини температури, яка фіксується верхньою термопарою, до номінальної величини (до збудження), а для нижньої термопари спостерігається зростання величини температури до максимального значення (етап V). Після проходження дефектом положення нижньої термопари її показники також виходять на номінальний рівень.

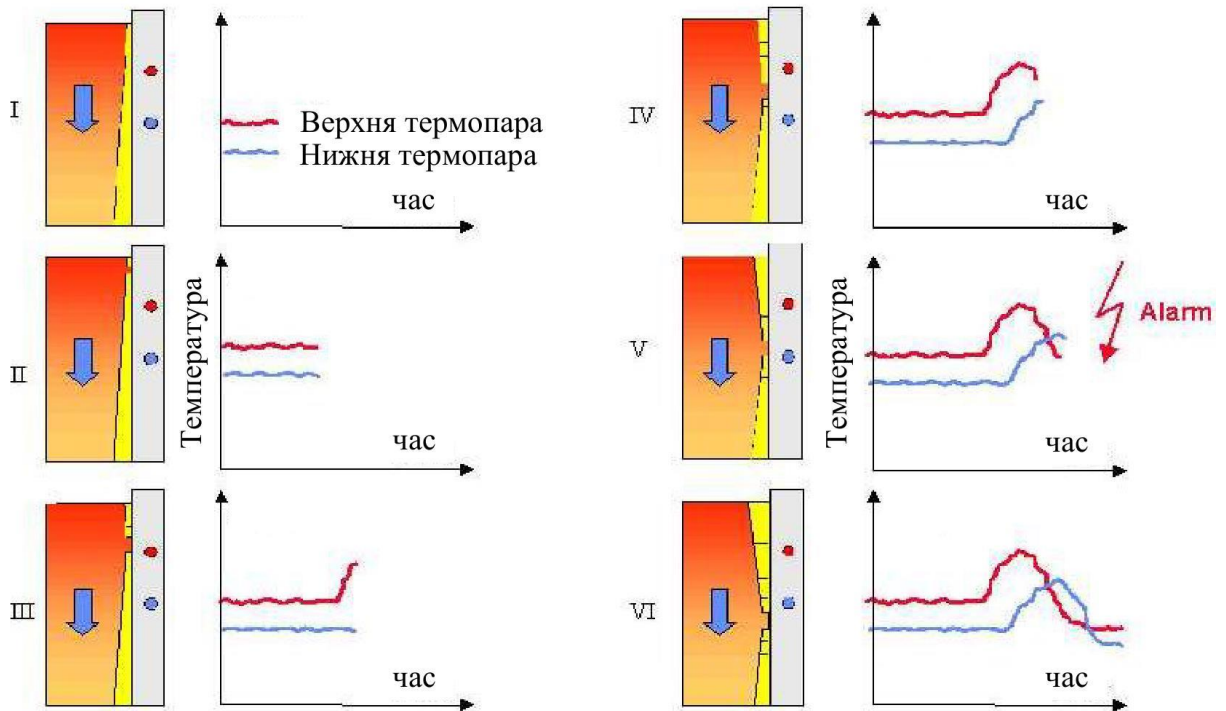


Рисунок 3.2 – Динаміка зміни температури стінки під час виникнення прилипання

Отримані з термопар дані за допомогою комп'ютерної обробки дозволяють уявити картину розподілу температури по поверхні заготовки в динаміці в режимі поточного часу. У випадку виявлення критичної ситуації (прориву скоринки) на якийсь час знижується швидкість витягання заготовки, що дозволяє залікувати місце прориву.

Для індикації критичної ситуації автоматична система прогнозування проривів використовує певну сукупність критеріїв, що дозволяють робити висновки про динаміку розвитку негативних явищ, пов'язаних із прилипанням кірки. Наприклад, розширення зони прилипання кірки (зниженої температури) є вихідною інформацією для зниження швидкості витягання заготовки або повної зупинки машини. У випадку, якщо динаміка зміни температур у деякій ідентифікованій зоні має схильність до утворення прориву (наприклад, тріщини у твердій кірці заготовки), то система керування сповіщає про це оператора МБЛЗ

й рекомендує йому виконати операцію зниження швидкості витягання заготовки (або ця операція виконується в автоматичному режимі). Зниження швидкості витягання заготовки дозволяє залікувати прорив і надати скоринці необхідної міцності.

Між цим навіть за зниження швидкості розливання на поверхні заготовки залишаються ділянки, уражені поверхневими й підповерхневими складками й тріщинами (рис. 3.3), які розглядаються як брак готової продукції й вимагають або вогневого зачищення, або вирізання зі сляба.

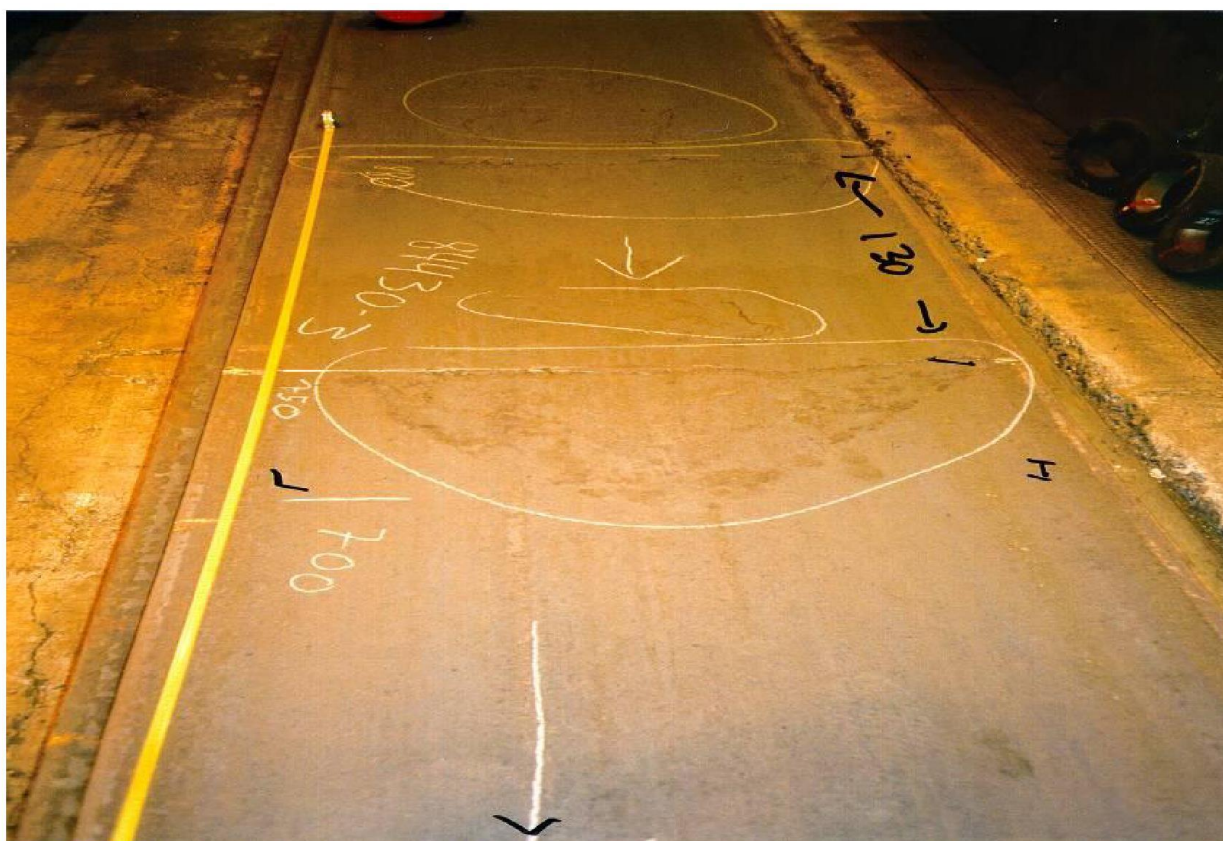


Рисунок 3.3 – Фотографія поверхні сляба з яскраво вираженим поверхневим дефектом, пов'язаним з проривом кірки в кристалізаторі

В остаточному підсумку, будь-яке гальмування МБЛЗ варто розглядати як чинник, що знижує її продуктивність і вимагає додаткових заходів щодо видалення виниклих дефектів заготовки.

Встановлення термопар на зовнішній стінці гільзи суттєво

підвищує тривалість підготовки МБЛЗ до розливання. Тому актуальною є задача прогнозування проривів металу під кристалізатором за непрямыми ознаками. Зокрема в роботі [3] авторами із використанням методів статистичного аналізу досліджено причини утворення проривів кірки металу під кристалізатором при розливанні сталі на МБЛЗ. Встановлено, що утворення проривів можна запобігти шляхом моніторингу непрямих параметрів і показників процесу розливання, таких як різниця температури води на вході і виході з кристалізатору, швидкість розливання і рівень металу в кристалізаторі та ін.

За результатами статистичного аналізу встановлено, що значимий вплив на утворення проривів мають такі параметри та показники процесу як мінімальний рівень металу в кристалізаторі, мінімальна різниця температури води на вході та виході з кристалізатора та максимальна швидкість розливки. Вплив решти параметрів є незначущим [3].

Автори статті [4] наголошують, що прорив підвисання є одним із ключових факторів, які обмежують розвиток технології безперервного лиття високошвидкісних або широких важких листів. Для того, щоб краще відновлювати та контролювати прорив підвисання, запропоновано методику розрахунку безпечної товщини оболонки. Потім, враховуючи розповсюдження підвисання та безпечну товщину оболонки, встановлюється більш практична модель відновлення прориву типу підвисання та перевіряється на фактичних прикладах.

Результат показує, що запропоновані алгоритми відновлення дозволяють уникнути надто низького зниження швидкості розливки або зупинки розливки, таким чином заощаджуючи час роботи.

Авторами роботи [4] встановлено, що відповідно до механічних умов відновлення прориву підвисання, мінімальна швидкість лиття для забезпечення того, щоб оболонка не розірвалася, може бути отримана при різних робочих швидкостях лиття та місцях точок підвисання. У той

же час виявлено, що зважений контроль параметрів хитання кристалізатора може покращити міцність оболонки, а ефект від покращення частоти хитань є кращим, ніж хід хитань.

Розташування гарячої точки, робоча швидкість лиття та частота коливань форми мають значний вплив на мінімальну швидкість для відновлення кірки заготовки після підвисання, а шаг хитання кристалізатора мало на це впливає [4].

У роботі [5] наведено результати розробки та експлуатації інтелектуальної системи прогнозування проривів рідкого металу під кристалізатором слябової МБЛЗ. Авторами розроблено математичну модель розподілених по периметру кристалізатора значень температур стінки мідної гільзи, критерії діагностики прилипання кірки заготовки у формі, а також методика та алгоритми прилипання оболонки заготовки у кристалізаторі. За 1,5 роки роботи зазначена програма показала відносно високу достовірність діагностики: за рахунок раннього виявлення застрягання оболонки заготовки у кристалізаторі попереджено 44 з 44 ймовірних випадків прориву рідкого металу. У 12 разів зменшено кількість помилкових діагностик порівняно зі штатною системою діагностики прилипання оболонки заготовки у кристалізаторах МБЛЗ.

З огляду на недоліки існуючих методів прогнозування проривів, авторами роботи [6,7] було поєднано кластеризацію k-середніх і динамічне викривлення часу (*dynamic time warping – DTW*) для дослідження та розробки ефективного методу прогнозування. За допомогою виділення типових часових характеристик температури з часової та просторової точок зору запропоновано метод, заснований на кластеризації k-середніх і *DTW*, щоб розпізнати прорив. Порівняно з системою прогнозування прориву (*breakout prediction system – BPS*), що експлуатувалася на підприємстві до цього, результати прогнозування запропонованого методу підтверджують, що кількість помилкових

тривогу можна зменшити з 50 до 8, забезпечуючи при цьому 100% правильну частоту тривоги. Чудова ефективність прогнозування демонструє, що метод прогнозування проривів на основі кластеризації демонструє хороший потенціал застосування, водночас він пропонує новий підхід до моніторингу аномалій у процесі безперервного лиття.

В роботі [8] відзначено, що усім таким явищам, що призводять до порушення процесу, передують типові закономірності в даних історії температури, записаних на масивах термопар, вбудованих у стінки форми. Розроблена нечітка система для точного розпізнавання цих візерунків у реальному часі та регулювання швидкості лиття, щоб запобігти поломкам. Розроблена та впроваджена система є відмовостійкою, має низький коефіцієнт помилкових тривоги і забезпечує онлайн-діагностику процесу безперервного лиття.

Застосування концепцій і принципів нечіткої логіки сприяло розробці та впровадженню вдосконаленої системи виявлення проривів для безперервного лиття сталі. Сигнатури даних про температуру в часі, що стосуються кожного типу прориву, порівнюються в реальному часі з миттєвими моделями на кожній термопарі, щоб забезпечити «ступінь відповідності». Коли відповідність перевищує порогове значення, генерується сигнал тривоги.

Ця система виявлення проривів успішно запобігає всім типам проривів і, отже, задовольняє основні вимоги до надійної системи виявлення проривів. Він також створює низьку кількість помилкових тривоги порівняно з існуючими системами.

Крім того, розроблена система забезпечує оперативний персонал діагностичною інформацією в режимі реального часу щодо стану вилівка та розвитку потенційних несправностей.

У своїх дослідженнях автори роботи [9] використали технологію комп'ютерного зору для візуалізації температури мідних пластин кристалізатора, вилучення геометричних характеристик і характеристик

руху області підвисання з точки зору часу та простору та побудови векторів ознак для характеристики V-подібної області прориву підвисання. Вони навчають та тестують модель допоміжного класифікатора *WGAN-GP* (*ACWGAN-GP*) на зразках вектора ознак істинного та хибного підвисання, розробляючи метод прогнозування прориву на основі комп'ютерного зору та генеративної змагальної мережі. Результати випробувань показують, що модель може розрізнити справжній прорив підвисання від помилкового прориву з точки зору температури мідної пластини кристалізатора, забезпечуючи новий підхід для моніторингу відхилень у процесі безперервного розливання.

Розроблений авторами [8] метод прогнозування прориву, який інтегрує комп'ютерне бачення з моделлю *ACWGAN-GP*, ефективно фіксує та виділяє динамічні та статичні характеристики V-подібної області прориву підвисання та здатний ідентифікувати та передбачати справжній та помилковий прорив, показуючи чудові потенціал застосування в онлайн-прогнозуванні аномалій процесів на основі комп'ютерного зору та штучного інтелекту.

Перспективним є використання для прогнозування проривів штучного інтелекту. Зокрема авторами роботи [10] розроблено дві нейронні мережі зворотного поширення для прогнозування наявності первинної тріщини, яка може призвести до прориву рідкої сталі.

Перша — це нейронна мережа¹, лише з одним вхідним параметром (температури термопар, прикріплених до прес-форми), а інша – нейронна мережа², що має три вхідні параметри (температури термопар, швидкість лиття та рівень кристалізатора). І нейронна мережа¹, і мережа² мають лише один вихід. Вихідні дані нейронних мереж становлять або 0 для відсутності тривоги (немає первинної тріщини), або 1 для тривоги (наявність первинної тріщини) в умовах прориву. Порівняння мережі 1 з мережею 2 показало, що мережа 2 має

меншу вихідну помилку, кращу продуктивність і точніше визначає первинну тріщину. Виконання нейронних мереж здійснюється за допомогою алгоритму навчання Левенберга–Марквардта, а також логарифмічної сигмоїдної функції передачі, що використовується як для прихованого, так і для вихідного рівня. Навчання, валідація та тестування моделі нейронних мереж виконується шляхом моделювання в Mat-Lab/Simulink [11].

В роботі [12] запропоновано гібридний інтелектуальний алгоритм, заснований на машині подвійних опорних векторів покращеної оптимізації (*LWOA-TSVR*) шляхом впровадження алгоритму Леві. Він використовує алгоритм *LWOA* для вирішення задачі оптимізації цільової функції в алгоритмі *TSVR*, щоб отримати нову модель прогнозування прориву. Результати моделювання та промислових випробувань показують, що модель має вищу точність розпізнавання, ніж традиційний метод виявлення, і може точно та своєчасно передбачити всі сигнали прориву. П'ять розширених алгоритмів порівнюються для подальшої перевірки продуктивності моделі. Результати доводять, що *LWOA-TSVR* має переваги високої швидкості конвергенції та високої точності прогнозування порівняно з іншими чотирма алгоритмами. Модель застосована на практиці в умовах виробництва металургійного заводу. Точність передбачення становить 98,2%, що виявляється більш ефективним, ніж система, яка використовується у виробництві.

З огляду на ключові загальні характеристики температури мідної гільзи під час прориву, такі як часова затримка і просторова інверсія, авторами роботи [13] представлені концепції просторової кластеризації програм на основі щільності з шумом і динамічним викривленням часу, а також розроблено новий інтегрований метод прогнозування прориву.

Завдяки виділенню та об'єднанню репрезентативної сингулярності та наближення зміни температури типові часові та

просторові температурні характеристики під час прориву можна розрізнити та точно передбачити. Порівняно з традиційними методами логічного судження та штучної нейронної мережі, метод, заснований на кластеризації, не вимагає штучної зміни порогових значень або параметрів прогнозу, що долає обмеження залежності моделі від людей і демонструє відмінну адаптивність і надійність для запобігання аномаліям в режимі онлайн.

Отже впровадження сучасних датчиків у кристалізаторі МБЛЗ у поєднанні з системами машинного навчання дозволяє ефективно виявляти перші ледь помітні ознаки виникнення проривів і запобігати їх утворенню. Для створення таких систем потрібно розуміти, які параметри процесу можуть бути виявляти такі ознаки. Визначення цього можливе методами математичної статистики.

1.2 Виявлення та ліквідація наслідків проривів в умовах ПрАТ «КАМЕРСТАЛЬ»

Ознаками прориву металу під кристалізатором є різке зниження рівня металу в кристалізаторі, хлопкі, поява зеленого полум'я над кристалізатором. Яскраве зелене полум'я утворюється внаслідок горіння міді.

Причини прориву відповідно до діючої ТІ:

- підвисання оболонки заготовки у кристалізаторі;
- грубі скупчення шлаку у меніска, що потрапляють у зазор між стінкою кристалізатора та оболонкою;
- грубі перекося в установці заглибних стаканів;
- поява грубих зовнішніх тріщин (поздовжніх та кутових);
- перевищення заданої швидкості розливання;
- погіршення стану шлакового покриву в кристалізаторі (зниження рідинної плинності, підвищення температури плавлення шлаку,

зниження швидкості розливу нижче робочої на значний період часу);

- зниження рівня металу в кристалізаторі нижче допустимого;
- порушення режиму охолодження зливка (особливо у верхній секції), засмічення каналів кристалізатора.

У разі прориву металу під кристалізатором припиняють подачу металу, знижують швидкість витягування і без зупинок виводять заготовку з машини. Якщо заготовка не виводиться з 2-3-х спроб, машину зупиняють і відрізають заготовку під бункером вторинного охолодження через 15-20 хв. після зупинки машини (охолодження переводиться в ручний режим на максимальну витрату води та повітря з метою швидкого охолодження зливка). Після виходу обрізаного зливка з МНЛЗ під злиток, що залишився, підводять затравку і після закінчення серії видають його з МНЛЗ.

Висновки по розділу

За результатами огляду вітчизняних і закордонних літературних джерел розглянуті новітні методи виявлення та відновлення проривів підвисання. Перспективними для використання є системи засновані на технологіях машинного зору, глибокого навчання та нейромережах. Ці технології з аналізу численних параметрів, що контролюються на МБЛЗ, здатні з високою надійністю визначати ті, що впливають на утворення прориву, та аналізувати і повідомляти про відхилення величини цих параметрів задля уникнення прориву. Для більш ефективної роботи таких систем необхідно визначити фактори, що найбільше впливають на утворення проривів. Тож у наступному розділі буде виконано статистичний аналіз для встановлення найбільш значущих технологічних параметрів розливки сталі на МБЛЗ, результати якого можуть бути використані для навчання та налаштування таких нейромереж.

3 ОХОРОНА ПРАЦІ

В даній випускній роботі виконано дослідження причин виникнення проривів корки металу під кристалізатором при безперервному розливі сталі, тому в цьому розділі розглянуто основні шкідливі і небезпечні фактори у відділенні МБЛЗ, питання пожежної безпеки, запропоновано заходи з поліпшення умов праці, охарактеризовано питання впливу на довкілля.

3.1 Охорона праці

3.1.1 Аналіз умов праці та пожежної безпеки

У відділенні МБЛЗ працівник піддається впливу багатьох шкідливих та небезпечних факторів: підвищені надлишки тепла, високий вміст пилу і шкідливих газів, велика кількість рухомих механізмів і електроустаткування, шум та вібрація.

Організм людини в розливному відділенні відчуває вплив великої кількості зовнішніх подразників – функціональних і побічних (шумів). Сигнали подаються машиністами кранів і сталевозу; передаються диспетчерами і лаборантами по гучномовному зв'язку. Їх повідомляють світлофорами на в'їздах і таке інше. Щоб ця сигналізація доходила до свідомості і зміцнювала корисний умовний рефлекс, щоб людина обмірковано співвідносила її з навколишнім оточенням і виконуваними діями, продуктивно працювала, необхідно належним чином організувати її працю.

Основними джерелами теплового (інфрачервоного) випромінювання у сталеплавильному виробництві є ковші та виливниці, наповнені розжареним металом, поверхні міксера і ковшів з розплавленим чавуном, нагріті поверхні технологічного устаткування та

кладки печей. За відсутності засобів індивідуального захисту вплив теплового випромінювання може призвести до порушення водно-сольового обміну і зневоднення тканин, а також до теплового удару. Контакт із нагрітими виробами, іскри, бризки і викиди розплавлених матеріалів можуть стати причиною опіків. У розливальників сталі має бути неослабна настороженість з приводу небезпечних контактів з рідким металом і шлаком, нераціональних дій в системі «людина і машина» – під краном, при русі локомотива або поїзда [17].

Категорія фізичної роботи у відділенні МБЛЗ відповідно до ГОСТ 12.1.005-88 [18] відноситься до категорії IIб (середньої важкості), з витратою енергії при виконанні роботи в межах 233-290 Вт (201-250 ккал/годину). Нормативні параметри мікроклімату відділення МБЛЗ за ДСН 3.3.6.042-99 [19] і фактичні наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Допустимі та фактичні параметри мікроклімату в робочій зоні цеху

Період року	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість шуму, м/с	
	Норматив	Факт	Норматив	Факт	Норматив	Факт
Холодний	17-19	14-18	40-60	75	0,2	0,2
Теплий	20-22	26-30	40-60	65	0,3	0,2

Як видно з таблиці 3.1, фактичні значення мікроклімату не відповідають нормативним.

Дисперсний склад пилу сталеплавильних цехів залежить від технологічного режиму плавки, її періоду, марки сталі, що виплавляється, умов утворення аерозолів, конденсації та пори року. За хімічним складом пил представлений оксидами заліза, хрому, марганцю, магнію, двоокисом кремнію, містить домішки алюмінію, титану, вольфраму, ванадію, молібдену. Технологічний процес також є

джерелом інтенсивних викидів у повітря робочих зон виробничих ділянок цеху окису вуглецю, оксидів азоту, двоокису сірки, ціанідів і сполук селену. Вплив на організм твердих та газоподібних токсичних речовин може стати причиною хронічних і професійних захворювань.

Виробниче середовище сталеплавильних цехів характеризується наявністю шуму. Рівень звукового тиску залежить від виду діяльності, стадії виплавки, дисперсності використовуваної шихти, газокисневого дуття, швидкості навантажувально-розвантажувальних робіт, кількості працюючих кранів тощо. Вплив шуму на організм залежить від спектральної характеристики і рівня звукового тиску. Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 [20] гранично допустимий рівень шуму, встановлений у виробничих приміщеннях на постійних робочих місцях, дорівнює 80 дБ, для операторів постів управління 65 дБ. Фактичний рівень шуму у цеху може досягати 110 дБ. Для зменшення шуму встановлюють пульти управління, працівникам видають беруши і навушники.

Вібрація може бути загальною або локальною. Джерелами загальної вібрації є робота технологічного обладнання. Фактичний рівень загальної вібрації не перевищує нормативні вимоги ДСН 3.3.6.039-99 [21] 105 дБ.

Важливим показником санітарно-гігієнічних умов праці, що впливають на ефективність і безпеку трудового процесу, є освітленість. Рівень освітленості робочих місць встановлюється в залежності від характеру і точності робіт. За зоровою напруженістю робота відноситься до VII розряду - робота з нагрітим до температури світіння металом. Норма загальної освітленості згідно з ДБН В.2.5-28-2018 [22] становить 200 лк.

Виробничий процес у цеху за вибуховою, вибухопожежною і пожежною небезпекою, згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [23], належить до категорії Г, тому що обробці піддаються негорючі матеріали в розжареному стані, процес обробки яких супроводжується виділенням

променистого тепла, іскор і полум'я.

Виробниче приміщення побудовано з негорючих матеріалів (металоконструкції і залізобетон) і згідно ДБН В.1.1-7:2016 [24] має 2 ступінь вогнестійкості.

У цеху є багато джерел запалювання горючих речовин: інтенсивне випромінювання тепла від рідкого металу; відкрите полум'я пальників; викиди металу з ковшів; іскри, бризки металу, електрозварювання, газорізка під час ремонтно-монтажних робіт. Це призводить до того, що на окремих ділянках цеху в місцях витоку масла з гідросистем, в місцях витоку і скупчень газу, на забруднених маслом машинах, в місцях знаходження горючих речовин створюється небезпека виникнення пожежі.

3.1.2 Заходи поліпшення умов праці

Безпека виробничих процесів повинна забезпечуватися:

- вибором найбільш раціональних технологічних процесів;
- розташуванням, режимом роботи і порядком обслуговування виробничого устаткування;
- якістю вихідних матеріалів;
- механізацією та автоматизацією важких і небезпечних робіт;
- дистанційним керуванням механізмами в небезпечних зонах;
- професійним добором і навчанням працівників питанням охорони

праці;

- вимогами безпеки, що включені до нормативно-технічної і технологічної документації.

Для створення нормальних санітарно-гігієнічних умов праці у сталеплавильних цехах необхідно передбачити:

- ефективну аерацію будівель;

- облаштування вентиляційних і аспіраційних пристроїв, повітряне та повітряно-водяне душення робочих зон і робочих місць;
- кондиціонування повітря;
- захист від джерел тепловипромінювання, електричних, електромагнітних і магнітних полів, ультразвуку, шуму;
- широке використання засобів колективного та індивідуального захисту;
- нормальну освітленість;
- систематичне та ретельне прибирання приміщень [25].

Усі виробничі процеси МБЛЗ, починаючи з лиття металу та закінчуючи видачою заготовок на стелажі, повинні бути механізованими та автоматизованими. Повинна бути також передбачена можливість ручного керування роботою цих механізмів.

Зона вторинного охолодження повинна бути виділена в окреме приміщення, яке має теплоізолюючі стіни та витяжну вентиляцію. Двері, що ведуть у приміщення зони вторинного охолодження, під час лиття металу повинні бути закриті на замок. Для обслуговування зони вторинного охолодження повинні бути облаштовані майданчики і сходи.

Технологічне устаткування, розташоване нижче зони вторинного охолодження до тягучих пристроїв включно, повинно бути розміщене у приміщенні з вогнестійкими стінами. Доступ працівників до цього приміщення під час лиття металу не дозволяється.

МБЛЗ повинна бути обладнана гучномовним і телефонним зв'язком, сигналізацією, і за необхідності телевізійним пристроєм для спостереження за роботою окремих агрегатів.

Усі закриті пости керування МБЛЗ повинні бути забезпечені кондиційованим повітрям та звукоізолювані. Пульт керування МБЛЗ повинен мати прилади контролю кількості та температури води, що надходить для охолодження кристалізатора й до зони вторинного

охолодження.

Змащення кристалізатора повинно бути механізованим. Механізми МБЛЗ повинні мати централізоване змащення.

Пост керування МБЛЗ на розливному майданчику повинен бути розташований в окремому приміщенні з теплоізолюючими стінами, теплозахисним склінням, що захищене металевою сіткою, і мати два виходи на розливний майданчик. Розташування поста керування повинно забезпечувати оператору добру видимість операцій, які проводяться на машині. На час лиття металу між постом керування і кристалізатором повинен установлюватися пересувний екран.

При розробці заходів захисту від теплових випромінювань варто виходити з фактичних величин інтенсивності теплових опроміненнь на робочих місцях, Вт/м² [26]:

$$E = \frac{0,91 \cdot \sqrt{F} \left[\left(\frac{T_{\text{випр}}}{100} \right)^4 - A \right]}{r}, \quad (3.1)$$

де E – інтенсивність теплових опроміненнь, Вт/м²;

F – площа випромінюваної поверхні, м²;

$T_{\text{випр}}$ – температура поверхні, К;

r – відстань від центра випромінюючої поверхні до об'єкта, що опромінюється, м;

$A=110$ для спецодягу із сукна.

Площа теплового випромінювання становить $F \approx 19,55$ м², інтенсивність теплових опроміненнь на робочому місці $E = 3000$ Вт/м². Таким чином, можна визначити температуру на зовнішній поверхні стінки поста керування:

$$E = \frac{0,91 \cdot \sqrt{19,55} \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{випр.}}}{100} \right)^4 - 110 \right]}{1} = 3000 \text{ Вт/м}^2, \Rightarrow T_{\text{випр.}} = 541 \text{ К} = 268 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Теплоізоляція поста керування повинна забезпечити температуру поверхні стінки усередині поста $t_{\text{ст.}}=35^\circ\text{С}$, температура повітря всередині поста $t_{\text{вс.п.}}=25 \text{ }^\circ\text{С}$, температура джерела тепловипромінювання (електросталеплавильна піч) $t_{\text{випр.}}= 268 \text{ }^\circ\text{С}$, товщина шару вогнетриву $\delta_{\text{в}}= 0,3 \text{ м}$. Необхідно знайти товщину шару ізоляції δ_{i} , що забезпечує задану $t_{\text{вс.п.}}$.

Питомий тепловий потік через стінку поста керування, Вт/м²:

$$q = \alpha_1 (t_{\text{випр.}} - t_{\text{зов.ст.}}) = \frac{\lambda_{\text{в}} (t_{\text{зов.ст.}} - t_{\text{ш.}})}{\delta_{\text{в}}} = \frac{\lambda_{\text{i}} (t_{\text{ш.}} - t_{\text{ст.}})}{\delta_{\text{i}}} = \alpha_2 (t_{\text{ст.}} - t_{\text{вс.п.}}), \quad (3.2)$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від нагрітого зовнішнього повітря зовнішній стінці поста, Вт/м²К; $\alpha_1=50 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ [27];

$t_{\text{зов.ст}}$ – температура зовнішньої поверхні стінки, $^\circ\text{С}$;

$t_{\text{ш}}$ – температура між шарами вогнетриву й теплоізоляції, $^\circ\text{С}$;

$\lambda_{\text{в}}, \lambda_{\text{i}}$ – коефіцієнт теплопровідності відповідно вогнетриву й ізоляції, Вт/м²К;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої поверхні стінки повітря усередині поста керування, Вт/м²К.

Коефіцієнт тепловіддачі можна розрахувати за формулою, Вт/м²К:

$$\alpha_2 = 9,5 + 0,0982(t_{\text{ст.}} - t_{\text{вс.п.}}) - 4,74 \cdot 10^{-4}(t_{\text{ст.}} - t_{\text{вс.п.}})^2 + 1,74 \cdot 10^{-6} (t_{\text{ст.}} - t_{\text{вс.п.}})^3; \quad (3.3)$$

$$\alpha_2 = 9,5 + 0,0982(35 - 25) - 4,74 \cdot 10^{-4}(35 - 25)^2 + 1,74 \cdot 10^{-6} (35 - 25)^3 = 10,5 \text{ Вт/м}^2\text{К}.$$

Питомий тепловий потік через стінку поста можна визначити по

формулі:

$$q = \alpha_2(t_{\text{ст.}} - t_{\text{вс.п.}}) = 10,5 (35 - 25) = 105 \text{ Вт/м}^2. \quad (3.4)$$

Температуру зовнішньої поверхні стінки посту можна визначити з формули питомого теплового потоку:

$$q = \alpha_1(t_{\text{випр.}} - t_{\text{зов.пов.}}); \quad (3.5)$$

$$t_{\text{зов.пов.}} = t_{\text{випр.}} - q/\alpha_1 = 268 - 105/50 = 266 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (3.6)$$

Орієнтовно приймаємо температуру між шарами вогнетриву й ізоляції, $^\circ\text{C}$:

$$t_{\text{ш}} = 0,75(t_{\text{зов.пов.}} + t_{\text{ст.}}) = 0,75(266 + 35) = 169 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (3.7)$$

Знаходимо середню температуру шару вогнетриву, $^\circ\text{C}$:

$$t_{\text{в}} = 0,5(t_{\text{зов.пов.}} + t_{\text{ш}}) = 0,5(266 + 169) = 217,5 \text{ }^\circ\text{C}. \quad (3.8)$$

При цій температурі визначаємо теплопровідність вогнетриву, Вт/мК:

$$\lambda_{\text{в}} = a + b \cdot 10^{-4} t_{\text{в}}, \quad (3.9)$$

де a , b – коефіцієнти для матеріалу вогнетриву; для червоної цегли $a = 0,466$, $b = 5,12$.

$$\lambda_{\text{в}} = 0,466 + 5,12 \cdot 10^{-4} \cdot 217,5 = 0,58 \text{ Вт/мК}.$$

Уточнюємо температуру між шарами з формули питомого

теплового потоку:

$$q = \frac{\lambda_B (t_{3OB.ПОВ} - t_{III})}{\delta_B}; \quad (3.10)$$

$$t_{III} = t_{3OB.ПОВ} - \frac{q \cdot \delta_B}{\lambda_B} = 266 - \frac{105 \cdot 0,3}{0,58} = 211,7^\circ C \quad (3.11)$$

Знайдемо середню температуру шару ізоляції, коефіцієнт теплопровідності ізоляції й товщину шару ізоляції з рівняння питомого теплового потоку через стінку посту керування:

$$t_i = \frac{t_{III} + t_{CT}}{2} = \frac{211,7 + 35}{2} = 123^\circ C. \quad (3.12)$$

Для матеріалу ізоляції – скловолокно $a = 0,04$ і $b=3$, тоді коефіцієнт теплопровідності ізоляції дорівнює:

$$\lambda_i = 0,04 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot t_i = 0,04 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 123 = 0,077 \text{ Bm / мК}; \quad (3.13)$$

$$\delta_i = \frac{\lambda_i (t_{III} - t_{CT})}{q} = \frac{0,077(211,7 - 35)}{105} = 0,13 \text{ м}. \quad (3.14)$$

Таким чином, щоб захистити сталевара від шкідливого і небезпечного впливу теплового випромінювання, необхідно на робочому місці встановити пост керування з червоної цеглини із шаром ізоляції з скловолокна товщиною 0,13 м.

На розливному майданчику повинні бути пристрої для повітряного душення робочих місць.

МБЛЗ повинні бути забезпечені аварійним освітленням.

З метою запобігання травматизму необхідно передбачити:

- наявність у цеху чіткої системи проходів з виділенням зон для

пішохідного руху із зазначеною розміткою, покажчиками та освітленням, з облаштуванням перехідних галерей і містків над небезпечними ділянками, додержання потрібних відстаней між стінами будівель, устаткуванням і рухомим транспортом;

- наявність попереджувальних знаків, сигналів і плакатів у особливо небезпечних місцях і на дільницях, безпосередньо біля агрегатів та у місцях перебування працівників, чітко виконаних схем розміщення та технологічного зв'язку агрегатів і трубопроводів горючих газів, мазуту, кисню, повітря, пари, води тощо;
- наявність запірних пристроїв трубопроводів;
- утримання у справному стані агрегатів, устаткування, машин та механізмів, інструментів і пристроїв, що експлуатуються.

Усі виробничі та допоміжні будівлі, споруди і склади сталеплавильних цехів повинні відповідати вимогам ДСТУ 4297:2004 [27] і бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння. Кількість останніх повинна відповідати нормам первинних засобів пожежогасіння для підприємств і організацій чорної металургії.

Засоби пожежогасіння і протипожежний інвентар повинні бути розташовані в легкодоступних, передбачених для цього місцях. Площадки пічних, розливних, ливарних прольотів і міксерних відділень, розташовані в зоні розплавлених і розпечених продуктів з печей і міксерів, повинні бути теплоізолюваними. Колони й інші будівельні конструкції, будівлі у місцях можливого зіткнення з розплавленим продуктом повинні мати вогнетривкий захист. Конструкції споруд у місцях можливого влучення в них іскор металу і шлаків повинні мати вогнетривкий захист.

3.2 Захист навколишнього середовища

Металургія – одна з найбільш забруднювальних галузей промисловості. На металургію припадає 35 % викидів забруднювальних речовин в атмосферне повітря.

Первинні викиди підлягають мокрому очищенню й у деяких випадках сухому очищенню за допомогою електрофільтрів або рукавних фільтрів. Вторинні пиловидні викиди не уловлюються та не очищуються. Також металургійні підприємства дуже забруднюють водойми. Важкі метали, радіонукліди, інші тверді відходи не підлягають утилізації чи повторній обробці й тим самим спричинюють шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Причини забруднення. Технології, що застосовуються на деяких підприємствах галузі, застаріли й мають низький коефіцієнт корисної дії. Майже 60 % продукції припадає на мартенівські печі, експлуатація яких постійно дорожчає, ефективність скорочується, а викиди забруднювальних речовин збільшуються порівняно із сучасними кисневими конверторами. Тільки 4 % продукції припадає на дугові електропечі й 10 % на безперервне розливання сталі – ефективні технології, що дають змогу зберігати значну кількість енергії та інших ресурсів.

Причини забруднення водних ресурсів – це недостатнє очищення стічних вод перед їх скиданням у річки чи каналізаційні системи.

Загалом згубний вплив від металургійних підприємств можна поділити на такі рівні:

- 1-й рівень – порушення ландшафту, забруднення ґрунтів і вод внаслідок видобування гірської породи;
- 2-й рівень – викиди теплової та електромагнітної енергії, забруднення атмосфери й водоймищ фенолами та ароматичними сполуками, коксовим газом, важкими металами

та радіонуклідами;

- 3-й рівень – забруднення водних, земельних ресурсів, атмосфери від виробництва металургії та викидів шкідливих речовин і твердих відходів.

Основні джерела забруднення навколишнього середовища на металургійних підприємствах:

- вивідна труба (для відведення диму та пилових часток);
- аераційні ліхтарі;
- вентилятори;
- витяжні шафи;
- відкриті ділянки складів, відвали.

Серед методів економії води заслуговують на увагу:

- застосування випарувального охолодження металургійних печей і кристалізаторів машин для безперервного лиття заготовок;
- заміна охолодження прокатного устаткування й металу за допомогою перфорованих труб форсунковим охолодженням;
- застосування електроприводів до повітрядувних машин і компресорів, унаслідок чого вода конденсується на парових турбінах;
- застосування для деяких агрегатів повітряного охолодження;
- впровадження сухих методів очищення газів, пневмотранспортування пилу, вихрових пиловловлювачів, рукавних і шарових фільтрів, електрофільтрів, перехід на контейнерну шихтоподачу.

Аналіз та оцінка впливу сталеплавильного виробництва на навколишнє середовище показали, що металургія – одне з основних джерел забруднення, зокрема, в Україні посідає друге місце разом із групою переробних підприємств. Основні чинники забруднення – це технологічні процеси, що є невід’ємною частиною галузі, та оснащення підприємств, які потребують модернізації. Та навіть після тотальної модернізації галузь не стане бездоганно безпечною, адже залишаться

проблеми раціонального використання енергоресурсів та утворення побічних продуктів виробництва. Необхідно безперервно досліджувати це питання, впроваджувати передові технології, щоб забезпечити екологічно безпечне виробництво [28].

ВИСНОВКИ

У першому розділі дипломної роботи за вітчизняними і закордонними літературними джерелами було розглянуто механізм утворення проривів металу під кристалізатором МБЛЗ та сучасні методи їх завчасного виявлення і попередження. Зокрема велику увагу приділено використанню з цією метою нейромереж, здатних до самонавчання, які швидко і точно визначають ризики утворення проривів.

В основній частині проведено аналіз проривів металу під кристалізатором семиструмкової сортової МБЛЗ ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ». Виходячи з загальноприйнятої класифікації проривів металу під кристалізатором за причиною їх утворення встановлені найбільш розповсюджені причини проривів на підприємстві – шлакові прориви та прориви охолодження. Ґрунтуючись на цьому визначено технологічні параметри, які апіорі мають значний вплив на утворення проривів: рівень металу в кристалізаторі, частота і амплітуда хитання кристалізатора, різниця температури води на вході та виході з кристалізатора, витрата води в кристалізаторі та швидкість витягування заготовки.

Для аналізу цих показників було відібрано 40 плавок сталі, які розливались на семиструмковій сортової МБЛЗ у сортову заготовку квадратного перерізу.

Згідно з результатами проведеного дисперсійного аналізу було визначено, що значимий вплив на утворення проривів мають такі параметри та показники процесу як мінімальний рівень металу в кристалізаторі ($\alpha = \dots$), мінімальна різниця температури води на вході та виході з кристалізатора ($\alpha = \dots$) та максимальна швидкість розливки ($\alpha = \dots$). Вплив решти параметрів є незначущим.

Виходячи з цього, можливо рекомендувати наступні зміни у

технологію розливання сталі на семиструмковій сортовій МБЛЗ:

- мінімальний рівень металу в кристалізаторі – не менш см;
- мінімальна різниця температури води на вході та виході з кристалізатора – не менш °С;
- максимальна швидкість розливки – не більш м/хв.

В розділі «Охорона праці та захист навколишнього середовища» було розглянуто основні шкідливі і небезпечні фактори у відділенні МБЛЗ ПрАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ», питання пожежної безпеки, запропоновано заходи з поліпшення умов праці, охарактеризовано питання впливу на довкілля.

В економічному розділі випускної кваліфікаційної роботи було проведено аналіз впливу зміни у технологію розливання сталі марки ЗСП, яку розливають на семиструмковій сортовій МБЛЗ.

Проведений аналіз показав, що зміни у технології розливання сталі марки ЗСП дозволяють підвищити серійність розливки у два рази та за рахунок усунення втрат металу при аваріях збільшити вихід придатної сталі на%. Завдяки цьому збільшується продуктивність МБЛЗ, а економічний ефект від цих заходів складає грн./рік.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Смірнов О.М. Безперервне розливання сталі [Підручник] / О.М. Смірнов, С.В. Куберський, Є.В. Штепан. – Алчевськ: ДонДТУ, 2011. – 518 с.
2. Prediction and Prevention System for Sticking Type Breakout in Continuous Casting / Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan. – 1988. – Vol.2. – P. 147.
3. Аналіз причин виникнення проривів металу під кристалізатором при розливанні на МБЛЗ круглої заготовки / Д.О. Мусунов, Є.В. Синегін, Л.С. Молчанов, С.В. Журавльова // Теорія і практика металургії. – 2017. – № 3-4. – С. 86-89.
4. Recovery mechanism of the sticking-type breakout during continuous casting of steel [Electronic resource] / H. Qian, F. He, X. Xie, Zh. Zhu, L. Zhang, L. Zhang and J. Shi // Ironmaking & Steelmaking. – 2017. – Vol.46, No.3. – P. 259-268. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1080/03019233.2017.1368956> (дата доступу: 22.12.2023).
5. Intelligent system for prediction of liquid metal breakouts under a mold of slab continuous casting machines [Electronic resource] / S. I. Luk'yanov [et al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2015. – Vol. 79, no. 9-12. – P. 1861–1868. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s00170-015-6945-1> (дата доступу: 22.12.2023).
6. Application of k-means clustering for temperature timing characteristics in breakout prediction during continuous casting [Electronic resource] / Haiyang Duan [et al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2020. – Vol. 106, no. 11-12. – P. 4777–4787. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-04849-x> (дата доступу: 22.12.2023).

7. Modeling of breakout prediction approach integrating feature dimension reduction with K-means clustering for slab continuous casting [Electronic resource] / Haiyang Duan [et al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2020. – Vol. 109. – P. 2707–2718. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s00170-020-05817-6> (дата доступа: 22.12.2023).

8. Recognition of Fault Signature Patterns Using Fuzzy Logic for Prevention of Breakdowns in Steel Continuous Casting Process / A.K. Bhattacharya, P.S. Srinivas, K. Chithra, S.V. Jatla, J. Das // PReMI. – 2005. – P. 318–324.

9. Integrated Model of ACWGAN-GP and Computer Vision for Breakout Prediction in Continuous Casting / Y. Wang, X. Wang, M. Yao // Metallurgical And Materials Transactions B. – 2022. – Vol.53B. – P. 2873-2883. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/s11663-022-02571-w> (дата доступа: 22.12.2023).

10. Ansari M. O. Neural Network Based Breakout Predicting System for All Four Strands of Caster in a Continuous Casting Shop—A Case Study [Electronic resource] / Md Obaidullah Ansari, J. Ghose, R. Kumar // Advances in Intelligent Systems and Computing. – Singapore, 2016. – P. 89–99. – Режим доступа: https://doi.org/10.1007/978-981-10-2525-9_9 (дата доступа: 22.12.2023).

11. Ansari M. O. Neural Network Based Breakout Predicting System for All Four Strands of Caster in a Continuous Casting Shop—A Case Study [Electronic resource] / Md Obaidullah Ansari, J. Ghose, R. Kumar // Advances in Intelligent Systems and Computing. – Singapore, 2016. – P. 89–99. – Режим доступа: https://doi.org/10.1007/978-981-10-2525-9_9 (дата доступа: 22.12.2023).

12. Breakout Prediction Based on Twin Support Vector Machine of Improved Whale Optimization Algorithm [Electronic resource] / Chunyang Shi [et al.] // ISIJ International. – 2023. – Vol. 63, no. 5. – P. 880–888. – Режим

доступу: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.isijint-2022-372> (дата доступу: 22.12.2023).

13. Integrated Approach to Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise and Dynamic Time Warping for Breakout Prediction in Slab Continuous Casting [Electronic resource] / Haiyang Duan [et al.] // Metallurgical and Materials Transactions B. – 2019. – Vol. 50, no. 5. – P. 2343–2353. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s11663-019-01633-w> (дата доступу: 22.12.2023).

14. Ботников С.А. Современный атлас дефектов непрерывнолитой заготовки и причины возникновения прорывов кристаллизующейся корочки металла / С.А. Ботников. – Волгоград, 2011. – 97 с.

15. Борздова Т.В. Основы статистического анализа и обработка данных с применением Microsoft Excel [Учебное пособие]. – Минск: ГИУСТ БГУ, 2011. – 75 с

16. Ботніков С.А. Вплив хімічного складу та технології рафінування низьковуглецевої та середньовуглецевої сталі на параметри розливання сортової МНЛЗ: Дисертація канд. техн. наук. – Челябінськ, 2009. – 171 с.

17. ПІ 1.2.10-408-2005. Примірна інструкція з охорони праці для розливальника сталі - https://dnaop.com/html/3392/doc-%D0%9F%D0%86_1.2.10-408-2005.

18. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Издательство стандартов, 1988.

19. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – К.: Мінздрав, 1999.

20. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – К.: Держстандарт, 1999.

21. ДСН 3.3.6.039-99. "Санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації". – К.: Держстандарт, 1999.

22. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення»

https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5_28/1-1-0-1188.

23. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». – К.: Мінрегіон України, 2016.

24. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – К.: Мінрегіон, 2017.

25. ПРАВИЛА охорони праці у сталеплавильному виробництві - <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1038-09#Text>.

26. Методические указания по расчетному обоснованию мероприятий по охране труда в дипломных работах и проектах для студентов всех специальностей / Сост. Л.В.Бабенко, С.Е.Сулименко. – Днепропетровск: НМетАУ, 2004.

27. ДСТУ 4297:2004 Пожежна техніка. Технічне обслуговування вогнегасників. Загальні технічні вимоги. – К.: Укр. НДІПБ, 2004.

28. Вергун О.О., Пушкаренко М.В., Олексєенко О.Р. Аналіз впливу сталеплавильного виробництва України на навколишнє середовище // Металознавство та термічна обробка металів № 4-2015. – С. 57-61.